

海河流域农田增效减负与 清洁生产技术研发与示范

张爱平 张晴雯 潘英华 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

海河流域农田增效减负与 清洁生产技术研发与示范

张爱平 张晴雯 潘英华 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书主要针对海河流域粮食增产稳产需求压力下带来的水环境问题,围绕海河南系平原河网区典型农田开展增效减负与清洁生产技术进行系统研究。本书在分析海河南系典型农田土壤基本理化性状、氮磷迁移转化特征和典型作物需肥规律的基础上,以精减肥料用量、丰富肥料类型、优化肥料结构及改进施肥方法为核心,对传统施肥模式进行改进;同时,以土壤碳氮关系为理论依据,以农业有机废弃物还田促进农田地力提升以及微生物氮磷活化为核心,通过秸秆还田,添加生物炭、有机肥以及微生物菌剂,扩大土壤库容,提升土壤缓冲性能,实现以碳调氮、培肥土壤、用养地相结合的目的;另外,综合考虑海河南系平原河网区土地盐碱化的地域特征,选择灌溉水源、灌溉方式,同时结合肥料运筹技术和土壤调理剂,辅以物理手段,实现水肥盐协同增效,节水保墒、抑盐增肥,促进农田提质增效,形成了基于氮磷盈余基准的肥料运筹技术、以碳调氮为核心的土壤库容扩增技术,以及水肥盐协同高效的农田增效减负技术等关键技术。

本书适合从事农田水利灌溉、农作物研究、农业工程领域的管理、科研、技术人员参考,也适合高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河流域农田增效减负与清洁生产技术研发与示范 /
张爱平等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2020.8
ISBN 978-7-5170-8805-9

I. ①海… II. ①张… III. ①海河—流域—粮食增产—研究②海河—流域—粮食作物—栽培技术—无污染技术—研究 IV. ①F326.11②S51

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第157129号

书 名	海河流域农田增效减负与清洁生产技术研发与示范 HAI HE LIUYU NONGTIAN ZENGXIAO JIANFU YU QINGJIE SHENGCHAN JISHU YANFA YU SHIFAN
作 者	张爱平 张晴雯 潘英华 等著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.5印张 353千字
版 次	2020年8月第1版 2020年8月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	78.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书撰写人员名单

主要撰写人员：张爱平 张晴雯 潘英华

其他参与撰写人员（按姓氏笔画排序）：

王乃江 石玉龙 朱 洁 刘 佳 刘 璐

刘小媛 刘杏认 刘宏元 杜 智 李 扬

李洪波 杨大明 杨永秦 张宇航 张英鹏

赵亚东 高佩玲 展晓莹 鲁金凤 谭丽丽

前言

FOREWORD



2020年中央一号文件是21世纪以来第17个指导“三农”工作的中央一号文件，提出加强农业资源保护和高效利用、加快农业环境突出问题治理以及推进农业高质量发展。海河流域是我国小麦和玉米主产区，也是我国第一大粮食产区。海河南系下游农业生产存在的主要问题包括：粮食刚性需求下化肥投入量高，缺乏清洁生产规范，农田潜在污染压力突出；农业清洁生产技术零散、集成整装度与模式适用性不足，缺乏区域统筹与流域示范等。因此，加强典型农田清洁生产技术研究，是促进农业绿色发展，加强农业面源污染防控的重要需求。

本书是对国家水体污染控制与治理科技重大专项“海河下游多水源灌排交互条件下农业排水污染控制技术集成与流域示范”、农业部公益行业专项“华北典型农田化肥增效减负与面源污染控制技术研究”及中国农业科学院“农业清洁流域”科技创新工程等多个项目研究成果的系统总结和梳理，主要针对海河流域粮食增产稳产需求压力下带来的水环境问题，围绕海河南系平原河网区典型农田开展增效减负与清洁生产技术进行系统研究。本书在分析海河南系典型农田土壤基本理化性状、氮磷迁移转化特征和典型作物需肥规律的基础上，以精减肥料用量、丰富肥料类型、优化肥料结构及改进施肥方法为核心，对传统施肥模式进行改进；同时，以土壤碳氮关系为理论依据，以农业有机废弃物还田促进农田地力提升以及微生物氮磷活化为技术核心，通过秸秆还田，添加生物炭、有机肥以及微生物菌剂，扩大土壤库容，提升土壤缓冲性能，实现以碳调氮、培肥土壤、用养地相结合的目的；另外，综合考虑海河南系平原河网区土地盐碱化的地域特征，选择灌溉水源、灌溉方式，同时结合肥料运筹技术和土壤调理剂，辅以物理手段，实现水肥盐协同增效，节水保墒、抑盐增肥，促进农田提质增效。形成了基于氮磷盈余基准的肥料

运筹技术、以碳调氮为核心的土壤库容扩增技术，以及水肥盐协同高效的农田增效减负技术三大关键技术。

在以上三大技术的基础上，进一步综合考虑作物产量、土壤肥力、环境影响等多个目标指标，同时围绕作物产前、产中、产后整个生产过程，最大程度实现要素整合与优化，集成了海河南系麦玉轮作区农田清洁生产技术体系，围绕“全周期”“全要素”和“全过程”就农作物整个生产过程进行调控。“全周期”主要从作物整个生育期维持健康生理生化指标进行监控，保障高产优质；“全要素”综合碳、氮、水、盐等关键因子，针对水、土、气、生等生产要素进行整合和优化，实现减负增效；“全过程”围绕整个生产过程，促进产前投入品高品控化，产中管理高效化，以及产后废弃物资源化，实现清洁生产，构建了“机理+产品+技术”的“全链条”农田增效减负与清洁生产技术创新模式，并选择典型示范区开展规模化示范，以点带面，向整个流域辐射推广，为海河南系平原河网区典型农田清洁生产和农业面源污染防治提供了可落地的技术思路和运行模式。

本书构建的“全链条”农田增效减负与清洁生产技术模式综合考虑作物整个生产过程，确定了海河南系平原河网区典型作物小麦和玉米清洁种植的关键技术参数，形成了“同心圆”推广模式和“梯级”推广队伍，对实现农业生产提质增效，绿色发展，以及保障粮食和生态安全具有技术支撑作用。希望本书为推动农田清洁生产、农业绿色发展、农业农村生态环境治理及农业面源污染防治提供有益的参考和借鉴。

限于作者水平和时间，书中难免会有错误、纰漏，切盼广大读者批评指正。

作者

2020年5月




目录

CONTENTS

前言

导论	1
0.1 研究背景与意义	1
0.2 研究思路	2
第 1 章 海河流域概况	4
1.1 海河流域自然条件	4
1.2 海河南系研究区农业生产状况	5
1.3 发展农业清洁生产的意义	10
第 2 章 海河南系农田土壤理化性质及氮磷迁移转化特征	12
2.1 农田土壤理化性质空间变异性	12
2.2 农田土壤水平方向水分入渗特征	29
2.3 海河南系典型农田氮磷迁移转化特征	45
第 3 章 海河南系典型农田肥料运筹技术	50
3.1 化肥科学减量技术	50
3.2 肥料结构优化	67
3.3 新型肥料替代技术	71
第 4 章 以碳调氮为核心的土壤库容扩增技术	89
4.1 秸秆生物炭的制备及其对土壤理化性质与植物生长的影响	90
4.2 生物炭对作物根系形态和内生真菌群落多样性的影响	119

4.3	不同有机物料还田增效减负技术	130
第5章	水肥盐协同高效的农田增效减负技术	138
5.1	微咸水灌溉模式下重度盐碱土水盐分布特征及改良效果	138
5.2	咸淡水间歇组合灌溉模式对中度盐碱土水盐分布特征及改良效果	149
5.3	表层掺沙对盐碱土壤水盐运移和夏玉米生长的影响	156
5.4	水肥盐协同高效增蓄扩容技术	170
第6章	海河南系典型农田清洁生产技术集成与示范	208
6.1	海河南系麦玉轮作区农田清洁生产关键技术集成	208
6.2	“全链条”农田增效减负与清洁生产技术模式示范	209
6.3	农田增效减负与清洁生产技术推广模式	211
6.4	建议	212
	参考文献	214



导 论

0.1 研究背景与意义

海河流域地处我国华北地区，域内河网密布，山地和高原占总面积的 60%，平原占 40%。地理位置优越，人口密集，大中城市众多，在我国政治、经济、文化和农业领域均占有重要地位（任宪韶，2008）。流域内有首都北京、直辖市天津，以及石家庄、唐山、秦皇岛、廊坊、张家口、承德、保定、邯郸、邢台、沧州、衡水、大同、朔州、忻州、阳泉、长治、安阳、新乡、焦作、鹤壁、濮阳、德州、聊城 25 座大中城市（水利部海河水利委员会，2003）。但海河流域也是我国水污染最严重的流域，“有河皆干，有水皆污”是海河流域水环境的真实写照。20 世纪 50—60 年代，海河流域污水排放量较少，河流水质总体上还比较好。从 20 世纪 70 年代开始，山区大面积开荒，平原围湖造田，水土流失和湿地萎缩等生态环境问题出现，海河流域先后发生了 3 起闻名全国的水污染事件，即 1971 年官厅水库、1974 年蓟运河、1975 年白洋淀水污染事件。进入 80 年代以后，随着社会经济的迅速发展，废污水排放量猛增，处理措施滞后，水污染形势越发严峻，主要表现在四个方面：一是河道断流，湿地萎缩；二是地下水超采严重；三是水质恶化，多数河流、湖泊受到污染（图 0-1）；四是水污染已由局部发展到全流域、农业面源污染逐渐占主要地位。

根据《海河流域水资源公报》数据计算，海河流域 2001—2009 年受污染（水质劣于Ⅲ类）河长平均占评价河长的 63.5%，其中，受严重污染（水质劣于Ⅴ类）河长平均占评价河长的 52.2%，即超过一半的河流受到严重污染。2007 年污染程度最高，污染河长占评价河长的 72.7%，水质没有改善的迹象。海河流域的大、中型水库是重要的水源地，也是流域水资源保护的重点。近年（2001—2009 年）受污染（水质劣于Ⅲ类）水库数量平均占评价水库总数的 14.5%。2006 年污染程度最高，污染水库占评价水库的 23.7%，水质没有改善的迹象。海河流域水库富营养化问题也较为严重。从 2005 年开始富营养水库数量急剧增加。2006 年，富营养水库个数占参评水库总数的 97%，2007 年占 98%，2008 年占 70%，比例有所下降，但是首次出现了一个重度富营养水库。根据《海河流域



图 0-1 海河流域南系下游污染状况 (2011 年)

水资源公报》数据计算, 2004—2008 年, 海河流域受污染 (水质劣于Ⅲ类) 地下水面积平均占评价总面积的 48.3%, 近一半地下水受到污染。2004 年和 2005 年污染程度最高, 受污染面积分别占到评价面积的 50.7% 和 63.3%。2007 年以后有所好转, 接近第二次水资源评价的结果 (水利部海河水利委员会, 2001—2009)。

一方面, 河流污染必然带来其灌溉农田的间接污染; 另一方面, 农业化肥农药的大量投入也使河流污染加重。海河流域是我国的粮食主产区, 它在保障我国粮食安全方面起着举足轻重的作用。但是, 在相当长一段时间内, 农业生产以单纯追求粮食产量增加为基本目标, 采用高投入粗放型发展模式, 很少考虑环境问题; 长期高度的外部物质性投入、集约化生产模式和粗放型管理导致该流域农业环境投入辅助能利用率下降, 化肥农药等大量流失、污染物排放量增大, 农业面源污染物接纳水体污染相当严重。因此, 开展典型农田清洁生产技术研究, 实现农业生产提质增效, 对促进农业绿色发展, 加强农业面源污染防控以及保障粮食和生态安全具有重要意义。

0.2 研究思路

针对海河流域粮食增产稳产需求带来的水环境问题, 在分析典型农田土壤基本理化性状、氮磷迁移转化特征和典型作物需肥规律的基础上, 以精减肥料用量、丰富肥料类型、优化肥料结构及改进施肥方法为核心, 对传统施肥模式进行改进; 同时以土壤碳氮关系为理论依据, 以农业有机废弃物还田促进农田地力提升, 以及微生物氮磷活化技术为核心, 通过秸秆还田, 添加生物炭、有机肥以及微生物菌剂, 扩大土壤库容, 提升土壤缓冲性能, 实现以碳调氮、培肥土壤、用养地相结合的目的; 另外, 综合考虑海河南系平原河网区土地盐碱化的地域特征, 选择灌溉水源、灌溉方式, 同时结合肥料运筹技术和土壤调理剂, 辅以物理手段, 实现水肥盐协同增效, 节水保墒、抑盐增肥, 促进农田提质增效。围

绕“全周期”“全要素”和“全过程”就农作物整个生产过程进行调控，“全周期”主要从作物整个生育期维持健康生理生化指标进行监控，保障高产优质；“全要素”综合碳、氮、水、盐等关键因子，针对水、土、气、生等生产要素进行整合和优化，实现减负增效；“全过程”围绕整个生产过程，促进产前投入绿色化、产中高效化以及产后资源化，实现清洁生产，构建“机理+产品+技术”的“全链条”农田增效减负与清洁生产技术创新模式（图0-2），在此基础上选择典型示范区开展规模化示范，以点带面，向整个流域辐射推广。

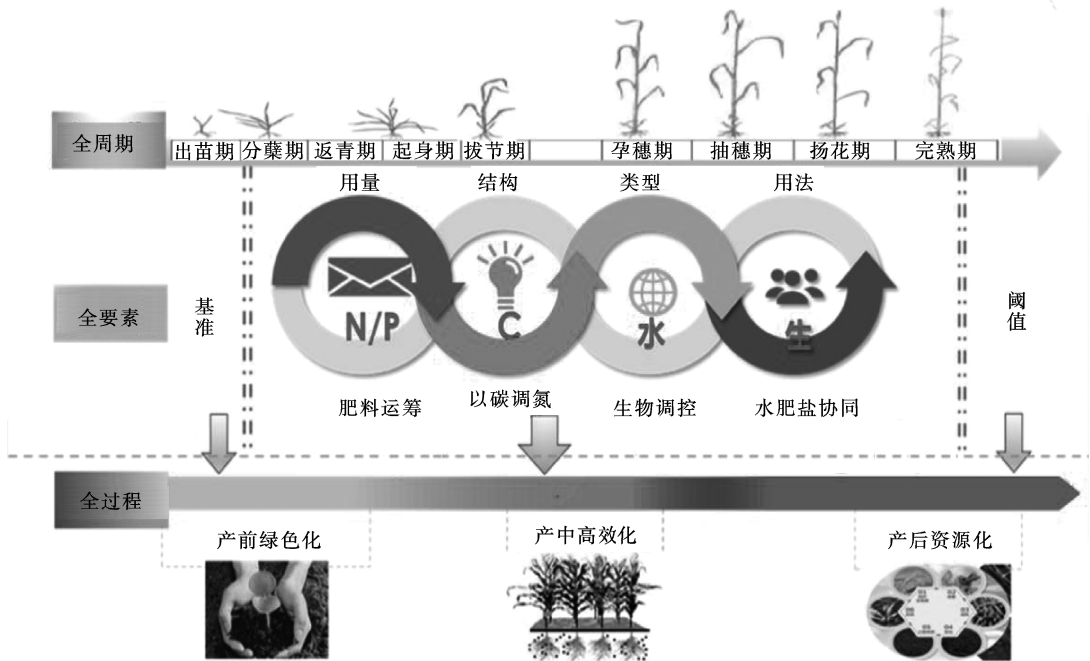


图0-2 “全链条”农田增效减负与清洁生产技术体系

海河流域概况

1.1 海河流域自然条件

1.1.1 气候状况

海河流域地处我国华北地区，位于 $35^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ ， $112^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ，西以山西高原与黄河流域交界，北以内蒙古高原与内陆河流域为邻，南界黄河，东临渤海。流域总面积为 $31.8\times 10^4\text{km}^2$ ，占全国总面积的 3.3%。海河流域属温带半干旱、半湿润季风气候区。流域年平均气温为 $1.5\sim 14^{\circ}\text{C}$ ，流域南部为 14°C 左右，北部为 0°C ，同纬度西部比东部低 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。最低气温多发生在 1 月，为 $-21\sim 0^{\circ}\text{C}$ ，历史最低气温为 -44.8°C ；最高气温往往发生在 7 月，平均温度多为 $17.4\sim 27.5^{\circ}\text{C}$ ，历史最高气温 45.8°C 。多年平均年降水量为 548mm，是我国东部沿海降水量最少的地区。高原区由于蒸发量小，年相对湿度大于 60%；山区湿度由于山脉阻挡而减小，年相对湿度在 55% 左右；平原地区由北到南相对湿度为 60%~75%，逐步增大（《海河志》编纂委员会，1997；水利部海河水利委员会，2003；任宪韶等，2008；卢路等，2011）。

流域全年降水主要集中于夏季，7 月、8 月降水量占全年的一半以上。秋季降水仅次于夏季，降水量占全年的 13%~23%。冬季是全年降水最少的季节，降水量仅占全年的 2% 左右。春季降水量只占全年的 8%~16%，加之春季风速大、升温快，一般相对湿度为全年最小，蒸发量却是全年最大，而且降水变率大，因而春季常出现春旱。因此，该区具有夏季暴雨集中，冬春雨雪稀少，春旱、秋涝、晚秋又旱的特点。常有“春雨贵如油”“十年九春旱”之说（《海河志》编纂委员会，1997）。

流域降水年际变化大，变差系数为 $0.17\sim 0.54$ ，还存在着连丰或连枯，是全国年际降水量变化最大的地区之一。自 20 世纪初设置水文站记录水文变化至 2018 年的系列内，流域年平均最大降水量为 798mm，而年平均降水量最小值仅 358mm（《海河志》编纂委员会，1997；王利娜等，2012）。

1.1.2 河流水系

海河流域由滦河、海河、徒骇马颊河三大水系组成，以漳河的浊漳南源为源，全长

1031km, 是典型的扇形流域, 流域长度平均为 450km, 宽度平均为 700km。河流众多, 水系分散, 源短流急, 水量呈季节性变化显著。海河水系由五大干流组成, 即南运河、北运河、大清河、子牙河和永定河, 五条河在天津区三岔河口汇入海河, 经海河流入渤海, 流域面积 $23.25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。海河南系主要由徒骇河、马颊河、德惠新河及潮河等平原河道组成, 全长 428km, 流域面积 33012 km^2 (水利部海河水利委员会, 2003; 任宪韶等, 2007)。

1.1.3 社会经济概况

海河流域是我国社会经济发展最为活跃的地区之一, 分布有 2 个直辖市、6 个省(自治区)和 64 个地级行政区划单位, 268 个县级行政区划单位。流域人口约 1.37 亿人, 其中城镇人口 5800 万人, 城镇化率 45%。流域面积占国土面积的 3.3%, 但人口占全国总人口的 10%, GDP 占全国 GDP 的 12.9% (王超等, 2015)。

海河流域是中国重要的工业基地和高新技术产业基地, 在国家经济发展中占有重要地位。工业门类众多, 技术水平高。20 世纪 90 年代以来, 以电子信息、生物技术、新能源、新材料为代表的高新技术产业发展迅速, 在流域经济中比重逐年增大, 形成了北京中关村、天津开发区等高新技术产业基地。海河流域具备了经济社会快速发展的技术、人才、资源、地理优势 (水利部海河水利委员会, 2003; 任宪韶等, 2008)。

随着经济社会的快速发展, 流域水资源遭到了破坏性开发, 水资源开发利用率达 95% 以上。流域生态环境破坏严重, 河湖干涸、湿地萎缩、水体污染、生物多样性减少等严重生态环境问题对流域饮用水安全、生态环境建设和国民经济可持续发展构成了严重威胁。

1.2 海河南系研究区农业生产状况

1.2.1 种植业

我国 13 个粮食主产区粮食产量占全国总产量的比重为 75.4%, 约 95% 的全国增产粮食来自这 13 个粮食主产区。海河流域是我国的小麦和玉米主产区, 也是我国第一大粮食产区。2009 年年末, 海河流域常用耕地面积 $1072 \times 10^4 \text{ km}^2$, 农作物总播种面积 $1571 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。农业以种植粮食作物、蔬菜瓜类和棉花为主, 三项合计占总播种面积的 92.60%。主要粮食作物为玉米、小麦、大豆和水稻, 分别占粮食作物总播种面积的 45.46%、37.67%、2.79% 和 1.31%, 四项合计占粮食作物总播种面积的 87.23%。冬小麦一夏玉米轮作是海河流域典型的种植模式, 一年两熟。海河流域蔬菜瓜类种植面积可观, 亦是我国重要的棉产区, 包括河北大部、山东全省及河南的北部地区。

海河南系下游农业生产存在的主要问题包括化肥农药利用率低、流失量大、养殖业排污量大, 境内农业污染物排放缺乏科学有效的管理, 既造成化肥农药的大量浪费, 也使接纳水体和土壤遭到严重污染。根据全国第一次污染源普查数据, 我国粮食主产区种植业源氮、磷流失量分别占全国农业污染源总排放量的 40.5% 和 22.2%; 其中, 粮食和蔬菜生产大省氮磷流失量较大。海河流域山东省种植业源氮磷流失量最高, 分别占全国农业源的 9.6% 和 4.8%。

1.2.2 养殖业

海河流域的畜禽养殖业规模很大，特别是在一些大城市周围，为了保障城市居民的“菜篮子”，建立了大量畜禽养殖场。根据统计数据计算，2007 年，海河流域生猪出栏 5315 万头，牛存栏 1185 万头，羊存栏 3020 万头，家禽出栏 123267 万只。改革开放以来，海河流域的畜禽养殖业发展迅速，成为农业和农村农民经济收入的主要来源之一。但是，畜禽养殖总体上规模化和标准化水平低，很多畜禽养殖场小区没有粪便和污水处理设施，污水直接排入附近河道，对环境造成很大的影响。调查发现，规模化养殖厂虽然建有污水处理设施，但是由于运行成本高或其他原因，经常闲置不用，畜禽粪便干清后加工成有机肥出售或直接出售，污水则在养殖场院内沉淀，然后用于灌溉。许多养殖小区的布局不合理，建在河道旁边，长期的留置和排放，严重危害水体、土壤、大气等环境的安全，并进一步危害人类健康。

1.2.3 国内外农业清洁生产研究进展

农业清洁生产是清洁生产的一部分，其定义与工业相似。把使用清洁的农业用品和整体预防的环保策略贯穿到农业生产的各个过程（包括农业生产、农业产品设计和农副产品食用等过程），以此减少农业污染物的数量和毒性，增加农业生产与生态环境相容度，最终将农业生产对人类和环境的不良影响降至最低程度的整个过程称为农业清洁生产。其实只是在农业生产的整个过程中，通过利用对农业环境友好的绿色农用品，改良农业生产技术，减少农业污染，监控体系、管理与技术的调控，提高农产品在生产和消费过程中与环境的相容程度，降低整个农业生产活动给人类和环境带来的不良影响。

清洁生产一直被应用于工业生产活动中，在农业方面发展尚处初期。农业清洁生产概念起于 20 世纪 70 年代，德国是世界上第一个提出“绿色环境标志”的国家，紧随其后，日本和加拿大相继提出了“生态标志”和“环境选择”。清洁生产经过多年的发展，已为各国政府和企业所普遍认可。美国、加拿大、德国、法国、荷兰、丹麦、日本、韩国、泰国等国家纷纷出台有关清洁生产的法规和行动计划，实施了一大批清洁生产示范项目，建立了全球、区域、国家、地区多层次的组织与交流网络。联合国环境规划署自 1990 年起每两年召开一次清洁生产国际高级研讨会，在 1998 年第五次会议上推出了《国际清洁生产宣言》。到 20 世纪 90 年代末期，一部分企业接受了清洁生产的理念，并在技术和信息支持下开展了一些活动，在 2002 年第七次清洁生产国际高级研讨会上，联合国环境规划署建议各国进一步加强政府的政策制定，使清洁生产成为主流，尤其是提高国家清洁生产中心在政策、技术、管理及网络等方面的能力。

在推行清洁生产的过程中，世界各国都面临着不同的困难和阻力，并普遍呼唤促进清洁生产的新模式，各国也从各自的实际出发，采取了相应的措施和行动，许多发达国家正在开展推动清洁生产的基础工作。例如，德国于 1994 年颁布了《循环经济和废物管理法》；日本为适应其经济软着陆时期的发展需求，在 2000 年前后相继颁布了《促进建立循环社会基本法》《提高资源有效利用法修订》等一系列法律，来建立循环社会；美国和加拿大也建立了污染防治方面的法律制度，大力推进污染防治工作。目前，面对农业清洁生产实施过程中的不足，发达国家处理的主要手段是立法。美国实施农业清洁生产的主要措施有：立法保障，宏观调控，实施有力的资金支持，重视科技技术的教育、研究、推广，

发展农业合作社，实施美国气候行动计划和净水行动计划等。德国在国内鼓励农民发展有机农业，推广农业清洁生产，其主要措施有：限制使用农药和化学肥料，控制地下水源污染，政策扶持，对农民进行普法培训，采用生态技术使用化肥和农药。荷兰在实施农业清洁生产的过程中采用的是分段实施的策略，来解决农业生产过程中过量的畜禽粪便环境污染问题。首先是粪便控制和处理阶段。在这一时期内，政府严格规定了畜禽粪便在生产过程中的产生量以及能使用的数量，建立和完善了粪便生产法律制度以及粪肥使用许可证制度；其次是逐步减少粪便的产生量，对于能完善畜禽养殖场地、改良养殖饲料的配方、提高管理水平、使用先进的饲养技术的养殖户企业，政府可以提供资金扶持，使养殖业逐步向无害化方向推进；再次农业污染控制阶段，在以上两个步骤的基础上，通过制定新的更加严格的氨和粪便排放标准，把农业清洁生产作为农业发展的终极目标。

虽然，我国在 2002 年以前农产品清洁化的理念和内容已经在相关法律中得到了相应的阐述和规定，但农业清洁生产的定义的最早提出还是在《中华人民共和国清洁生产促进法》当中。由于农业清洁生产概念提出的较晚，对其相应的研究也处于初级阶段，因此在农业清洁生产的推广中存在着各种各样的阻碍，难以用来指导农民和政府部门实施农业清洁生产。

近年来，随着我国“绿色食品”浪潮的掀起，以及对农业面源污染问题的日益关注，农用化学品的不合理使用对生态环境和人类健康产生的不良影响日益被人们所重视，因此农业清洁生产开始引起一些学者与部门的思考与重视，并在局部地区进行了探索性研究。《中华人民共和国清洁生产促进法》中规定，农业生产者应当科学地使用化肥、农药、农用薄膜和饲料添加剂，改进种植和养殖技术，实现农产品的优质、无害和农业生产废物的资源化，防止农业环境污染，这是对农业清洁生产的基本要求。但我国的农业清洁生产总体上还处于“思考”阶段。从农业清洁生产的思想出发考虑现行的农业生产，目前只有江苏省立项开展了农业清洁生产技术体系的研发、管理体系与标准化的研究，以及农业清洁生产技术与管理综合集成与试验示范，已形成多个技术规程或标准，并在全省建立了农业清洁生产示范基地江苏省科学技术学会等。另外，也有一些专家学者仅对自己从事的行业如畜牧业等进行了清洁生产的探讨，缺乏从大农业整体来研究。近年来，我国为推行农业清洁生产做了整体部署，在推行清洁生产方面做了大量工作，如开展清洁生产宣传培训、项目示范、国际交流与合作等。各地各部门把推行清洁生产作为重要内容予以考虑。全国成立了许多行业和地方清洁生产中心，出现了大量清洁生产的中介机构。全国绝大多数省、自治区、直辖市都先后开展了清洁生产的培训和试点工作，试点项目达 700 多个，通过实施清洁生产，普遍取得了良好的经济效益和环境效益。随着我国将农业清洁生产作为促进节能减排的重要手段，在增加环保投资、建设污染控制和制定污染物排放标准、推行环境立法实施和改善环境污染等方面都取得了一定进展。

在种植业清洁生产方面，随着经济的不断发展，由农业活动引起的土壤下水体等污染不断加重，开发建设和生产规模不断扩大，工业、生活污水排放量日益增长，导致农田灌溉污染，农业生态环境十分严峻。在我国农业发展过程中，农业化学品的数量急剧增长，人们为了提高作物产量，大量使用化肥和农药，不仅影响环境安全，造成资源浪费，还会影响农产品的安全性。农业面源污染作为农业生产的负面产物，对清洁农业生产和农业可

持续发展有很大的影响。通过制定不同区域、不同作物施肥配方,大力推广测土配方施肥,有效控制化肥施用量,提高化学肥料利用率,减少化学污染。通过出台相关扶持政策,有效推动了废旧农膜回收利用工作。同时,生产领域的农业补贴政策也逐渐完善,主要体现在补贴与保护性耕作等的实施。

在畜牧业清洁生产方面,畜牧业作为农业的重要组成部分,提高其生产技术清洁也是农业清洁生产的重要环节之一。随着畜牧业的快速发展,畜牧业对环境的污染也愈加显著。在畜牧业清洁生产过程中,要不断减少畜牧建筑废弃物和畜牧污染物的生成和排放,促进畜牧业的整个生产过程、消费与生态环境的协调发展得以兼顾,以符合清洁生产的要求。当前,农户生产都还存在生产方式粗放、管理方式落后、管理制度不规范、政府监督不严格等问题,这些问题都给农业畜牧产品安全带来了危害。畜禽粪便的污染是清洁生产推广过程中面临的一个巨大挑战,同时也是一种有经济价值的宝贵资源,将其充分利用是污染防治的关键。实践证明,传统高投入、高消耗的粗放型的畜牧业增长方式和以末端控制、处理为主的集约饲养方式需要得以转变。我国必须全面推广畜牧业清洁生产,实现畜牧业生产。

从总体上看,我国的农业清洁生产无论从政策的运行机制、实施效果,还是引导作用和公众配合等方面,同发达国家相比都存在一定差距。我国农业清洁生产刚刚开始兴起,在发展过程存在的主要问题一是农业清洁生产还未被提到议事日程上来,对农业清洁生产的认识不足,宣传不够,缺乏对农业实施清洁生产的指导。二是缺乏配套政策措施。农业清洁生产还未被纳入到农业结构调整及农村环境整治中去,缺乏推进清洁生产的激励政策,企业或农民缺乏自觉开展清洁生产的动力和自觉性。三是缺少先进适用的技术,特别是对农业有重大影响和带动作用的共性、关键和配套的农业清洁生产技术,研究开发和示范不够。

1.2.4 存在问题

(1) 粮食刚性需求下化肥投入量高,缺乏清洁生产规范,农田潜在污染压力突出。为了保障国内生产和居民生活,我国于2008年制定并公布了《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)》,规划中要求到2020年,耕地保有量不低于18亿亩,全国谷物播种面积稳定在12.6亿亩以上,其中稻谷稳定在4.5亿亩左右。到2020年,全国粮食综合生产能力达到5400亿kg以上,即在现有基础上需要增产500亿kg。

我国化肥消费的主要区域是黄淮海平原区、长江中下游区和东北区,这三个区的化肥消费总量占到了全国消费总量的2/3以上。海河流域的主体在黄淮海平原区,是我国化肥消费量最大的区域之一。根据统计数据计算,2007年,海河流域农作物总播种面积为 $1571 \times 10^4 \text{ km}^2$,化肥施用量(纯量)为5567827t,平均每公顷播种面积化肥施用量(纯量)354kg。海河南系山东省化肥单位面积用量达到 466.54 kg/hm^2 ,远高于发达国家为防止化肥对水体造成污染而设置的 225 kg/hm^2 的安全上限。

海河流域长期以来高施肥量投入使土壤和水环境承受着巨大的压力。化学肥料对作物产量增加功不可没,但由于化肥生产、供应、施用呈畸形发展,致使在施肥方面存在三个十分严重的问题:①在化肥使用结构上,重化肥轻有机肥;重氮、磷肥,轻钾肥,重大量元素肥,轻中、微量元素肥。理想的氮磷钾比例为 $1:0.4 \sim 0.5:0.4 \sim 0.5$,我国平均水

平为 1 : 0.31 : 0.11, 海河流域氮磷钾的施用结构分别为 1 : 0.35 : 0.18, 氮肥施用偏高。②在施肥品种上, 长期以来比较单一, 复合肥、新型肥料的品种及使用比例和发达国家相比较低, 推广应用率不高, 肥料种类以氮肥为主, 新型肥料品种少且推广度低, 致使化肥利用效率不高, 氮肥的利用率为 25%~30%, 磷肥利用率为 10%~20%, 低于发达国家 10~20 个百分点。③施肥方法落后, 不仅大量肥料白白浪费, 还使环境污染风险加剧, 出现增肥不增产, 增产不增收的现象。总之, 施用量高而利用率低导致农田氮磷负荷不断增高, 流失风险日益加大, 加上当地大部分农田仍在施肥后采用漫灌方式灌溉, 直接导致尚未被作物利用的及过量施用的化肥, 以气态、径流和淋溶的形式集中进入地表及地下水环境, 农田退水造成的面源污染问题也不容忽视。

(2) 批量畜禽养殖废弃物缺乏处理与循环利用, 区域种养关系脱节, 平衡体系远未形成。海河流域是肉类主产区, 畜禽养殖业在给人们提供大量肉蛋奶的同时也产生大量的废弃物, 如畜禽粪便、养殖污水等, 由于大量规模化养殖场和密集养殖区出现, 产生的废弃物没有得到有效的消纳, 大量粪便污水肆意排放进而造成环境污染问题日趋严重, 成为海河流域主要污染源之一。海河流域内的山东省作为我国畜禽养殖大省, 污染物排放量较大。根据全国规模化畜禽养殖污染情况调查统计数据, 山东省规模化畜禽养殖场的粪便产生量已相当于本地区工业固体废弃物的 40%。畜禽养殖业源 COD、氨氮、总磷排放量均为全国最大, 分别占全国农业污染源总排放量的 65.6%、23.2% 和 39.3%。山东省畜禽养殖业的氮排放量低于种植业源, 但畜禽养殖业磷排放量高于种植业。

改革开放以来, 海河流域畜禽养殖业发展迅猛, 因缺乏相应的粪污处理设施和配套的农田, 养殖过程中产生的粪污随意堆放和四处排放, 造成了严重的环境污染。缺乏经济适用的畜禽养殖技术和环境治理技术, 随着海河流域养殖规模化程度的不断提高, 畜禽养殖技术由传统的垫料养殖转变成了水冲粪和水泡粪, 在“菜篮子”工程初期, 大量的规模化猪场绝大多数采用了水泡粪清粪工艺, 由于缺乏相应的粪污贮存设施和配套的农田及农田利用设备, 大量的粪污无法得到有效处理和利用, 造成了严重的环境污染; 目前海河下游常用的畜禽养殖环境污染治理技术多借鉴工业污水处理技术和工艺, 以猪场污水处理工程为例, 处理工艺以厌氧+好氧为主, 该处理工艺投资高、运行费用大, 大多数养殖场无力承担, 无法得到广泛应用。为了减少规模化养殖场(小区)畜禽养殖过程粪污产生, 虽然海河下游正在大力推广干清粪工艺和垫料养殖技术(发酵床), 但因缺乏配套农田和技术的适用范围, 仍无法从根本上解决畜禽粪尿污染难题。

(3) 农业清洁生产技术零散、集成整装度与模式适用性不足, 缺乏区域统筹与流域示范。目前, 海河流域农业生产生活还都是采用传统的方式进行, 农田种植以人工种植为主, 农民根据自身经验进行农田肥药施用, 肥料、农药使用效率低, 造成大量的肥料、农药随雨水径流入湖。因缺乏科学的技术指导, 采用技术单一, 无法准确判断农田肥料和农药使用量和使用时间, 更没有建立土壤肥力信息系统。尽管已经提出了一些技术, 但由于缺乏科学指导, 缺乏技术的集成整装度、模式适用性、技术与工程及政策管理方面的衔接, 农民不愿尝试新技术, 限制了技术的推广和应用。因此, 亟须针对海河流域农业生产特点和水质目标需求开展农业面源污染控制技术筛选、优化和系统集成, 结合土地流转和农业合作组织, 探索农业清洁流域构建的方法和推广模式, 提炼成可移植、易推广、易被